循环热应激对黄羽肉鸡呼吸机能、生长性能和肝脏抗氧化功能的影响

钟 光[1,2] 邵 丹[2] 施寿荣[2] 童海兵[2*] 宋志刚[1*]

（1.山东农业大学动物科技学院，泰安 271018；2.中国农业科学院家禽研究所，扬州 225125）

摘 要：本试验旨在研究循环热应激对黄羽肉鸡呼吸机能、生长性能和肝脏抗氧化功能的影响。选择35日龄体重相近的雄性黄羽肉鸡144只，随机分为常温组和循环热应激组2个组，每组12个重复，每个重复6只鸡。2个组均饲喂基础饲粮，常温组温度为（26.0±0.5）℃，循环热应激组给予如下温度：20:00—次日08:00为26 ℃，08:00—12:00和16:00—20:00为30 ℃，12:00—16:00为34 ℃。试验期6 d。结果表明：循环热应激2 d后，循环热应激组的鸡冠温度、翅下温度、直肠温度、呼吸频率、料重比（F/G）和肝脏蛋白质羰基含量显著高于常温组（P<0.05），平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）以及肝脏过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）活性显著低于常温组（P<0.05）。循环热应激6 d后，循环热应激组鸡冠温度、呼吸频率、F/G和肝脏蛋白质羰基含量显著高于常温组（P<0.05），ADFI、ADG以及肝脏还原型谷胱甘肽含量和CAT、SOD、谷胱甘肽过氧化物酶活性显著低于常温组（P<0.05）。综上所述，循环热应激能升高黄羽肉鸡的体温，加快呼吸频率，降低生长性能和肝脏抗氧化功能。

关键词：黄羽肉鸡；循环热应激；呼吸机能；生长性能；抗氧化功能

中图分类号：S831 文献标识码： 文章编号：

热应激是动物机体对热环境非特异性防御应答的生理反应。家禽由于全身覆盖羽毛且没有汗腺，导致难以散热，易产生热应激并诱导氧化应激，对肝脏产生不良影响[1]。研究表明，热应激能抑制动物生长，并且这种抑制作用和氧化损伤有关[2-3]，付旭彬[4]的研究表明，热应激会降低肝脏的抗氧化功能，导致试验鸡肝细胞病理性损伤，表现为肝脏产生不同程度的颗粒变性和脂肪变性。2016年我国黄羽肉鸡出栏量超过40亿只，约占肉鸡养殖量的1/2。目前主要以农户地面散养为主，环境控制差，夏季极易产生热应激，然而当前国内开展黄羽肉鸡热应激的研究较少，且大部分采取的是单一温度的持续高温热应激研究，这与生产中的每日实际温度差异较大。本试验模拟华东地区夏季的环境温度构建热应激模型，研究循环热应激对黄羽肉鸡呼吸机能、生长性能和肝脏抗氧化功能的影响，为充分了解氧化应激对机体产生损伤的机理，并延伸到氧化应激的线粒体损伤机制研究上提供依据。

1 材料与方法

收稿日期：2017-09-27

基金项目：江苏省农业三新工程项目（SXGC（2016）289）；国家自然科学基金（31472115）；山东省家禽产业创新团队（SDAIT-011-08）

作者简介：钟 光（1990-），男，山东诸城人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: 929479193@qq.com

*通信作者：童海兵，研究员，硕士生导师，E-mail: tonghb@163.com；宋志刚，教授，博士生导师，E-mail: naposong@qq.com

1.1 试验设计

选择 35 日龄健康的、体重在（1 360±10） g 的雄性黄羽肉鸡 144 只，随机分为常温组和循环热应激组 2 个组，每组 12 个重复，每个重复 6 只鸡。2 个组均饲喂基础饲粮，常温组温度为（26.0±0.5） ℃，循环热应激组模拟华东地区夏季温度，给予如下温度：20:00—次日 08:00 为 26 ℃，08:00—12:00 和 16:00—20:00 为 30 ℃，12:00—16:00 为 34 ℃，该温度模式由江苏立华牧业股份有限公司提供。试验期 6 d。

1.2 饲养管理

试验在中国农业科学院家禽研究所仪征基地的环控仓中进行，3 层笼养，鸡笼规格为 100 cm×80 cm×45 cm，自由采食和饮水，相对湿度为（60±5）%，循环热应激的时间和温度如图 1 所示（升温降温均在 5 min 内完成），24 h 光照。试验开始时分组称重，饲喂按照我国《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）配制的基础饲粮，基础饲粮组成及营养水平如表 1 所示。环控仓由北京库蓝科技有限公司生产，黄羽肉鸡购自扬州立华畜禽有限公司。

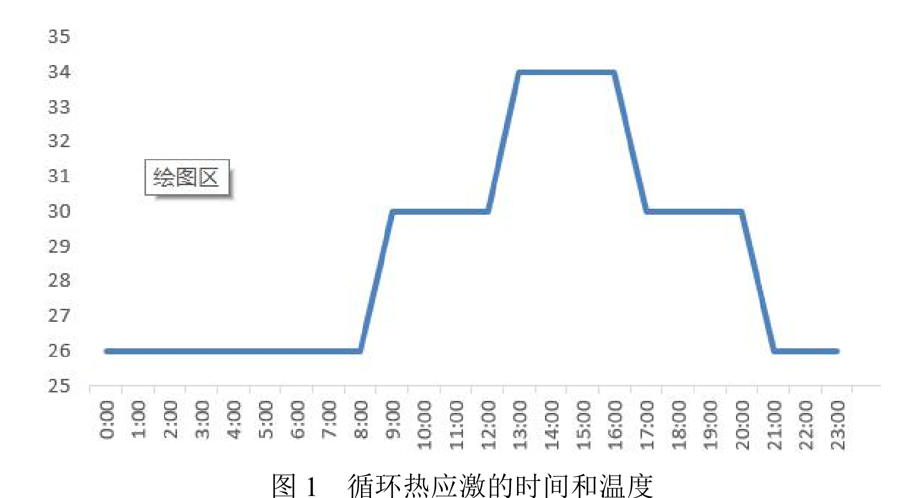


图 1 循环热应激的时间和温度

Fig.1 Cycle heat stress time and temperature

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet （air dry basis） %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	63.00
大豆粕 Soybean meal	26.20
玉米蛋白粉 Corn protein meal	3.70
大豆油 Soybean oil	3.30
石粉 Limestone	1.57
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.11
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.15
赖氨酸 Lys (70%)	0.26
氯化钠 NaCl	0.30

氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10
植酸酶 Phytase	0.04
微量元素 Microelements[1)]	0.20
维生素 Vitamins[2)]	0.03
苏氨酸 Thr	0.04
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
代谢能 ME/（MJ/kg）	13.02
粗蛋白质 CP	18.35
干物质 DM	85.29
粗脂肪 EE	6.08
钙 Ca	0.93
有效磷 AP	0.32
赖氨酸 Lys	1.01
蛋氨酸 Met	0.46
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.76
苏氨酸 Thr	0.72
精氨酸 Arg	1.10

[1)]微量元素为每千克饲粮提供 The microelements provide the following per kg of the diet：Mn 50 mg，Fe 25 mg，Cu 2.5 mg，Zn 50 mg，I 1.0 mg。

[2)]维生素为每千克饲粮提供 The vitamins provide the following per kg of the diet：VA 7 715 IU，VD_3 2 755 IU，VE 8.8 IU，VK 2.2 mg，VB_{12} 0.01 mg，VB_2 4.41 mg，VB_3 5.51 mg，烟酸 nicotinic acid 19.8 mg，叶酸 folic acid 0.28 mg。

1.3 检测指标

1.3.1 呼吸机能

循环热应激 2 和 6 d 后，用非接触式红外测温仪（AR550 型，希玛仪表有限公司）测定黄羽肉鸡的鸡冠温度和翅下温度；用动物直肠体温计（HRQ-S2009 型，郑州豪润奇电子科技有限公司）测定黄羽肉鸡的直肠温度，每个指标测定 3 次，取平均值；每个重复用微型摄像机（SQ8 型，深圳市凯尼康科技有限公司）拍摄 12:30—13:30 的鸡群，并选择 13:00 附近时间段，统计每重复中鸡每分钟的呼吸次数，每重复统计 3 只，连续统计 5 min，取平均值。

1.3.2 生长性能

每次喂料时称料重，试验开始和采样前统计每个重复的体重和余料重，计算循环热应激 1～2 d、3～6 d 和 1～6 d 的平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

1.3.3 肝脏抗氧化功能

循环热应激 2 和 6 d 后，从每个重复中随机选取 1 只鸡，采集肝脏组织，称取 0.1 g 左右的肝脏组织，按照试剂盒测定要求匀浆并稀释，测定匀浆液中过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性及还原型谷胱甘肽（GSH）、丙二醛（MDA）、蛋白质羰基（protein

carbonyl,PC）的含量，试验所用试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

1.4　数据处理

数据经 Excel 2013 进行统计和简单处理后，用 SPSS 20.0 软件的 Univariate 进行单因素方差分析，均值显著性分析用 Duncan 氏法多重比较，结果以平均值±标准差表示，并以 P<0.05 作为显著差异。

2　结　果

2.1　循环热应激对黄羽肉鸡呼吸机能的影响

由表 2 可知，循环热应激 2 d 后，循环热应激组的鸡冠温度、翅下温度、直肠温度和呼吸频率显著高于常温组（P<0.05），循环热应激 6 d 后，循环热应激组的鸡冠温度和呼吸频率显著高于常温组（P<0.05）。

表 2　循环热应激对黄羽肉鸡呼吸机能的影响

Table 2　Effects of cyclic heat stress on breathing function of yellow-feathered broilers

时间 Time/d	项目 Items	常温组 Normal temperature group	循环热应激组 Cyclic heat stress group	P 值 P-value
2	鸡冠温度 Comb temperature/℃	35.86±0.48^{b}	39.20±0.54^{a}	<0.001
	翅下温度 Wing temperature/℃	40.46±0.38^{b}	42.93±0.47^{a}	<0.001
	直肠温度 Rectal temperature/℃	40.82±0.53^{b}	43.92±0.44^{a}	<0.001
	呼吸频率 Breathing rate/（次/min）	24.36±9.17^{b}	166.04±12.49^{a}	<0.001
6	鸡冠温度 Comb temperature/℃	36.34±0.42^{b}	37.93±0.58^{a}	<0.001
	翅下温度 Wing temperature/℃	40.37±0.49	40.88±0.61	0.120
	直肠温度 Rectal temperature/℃	41.22±0.43	41.79±0.67	0.124
	呼吸频率 Breathing rate/（次/min）	32.06±9.24^{b}	157.03±7.55^{a}	<0.001

2.2　循环热应激对黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知，循环热应激组 1～2 d 的 ADFI、ADG，3～6 d 的 ADG 和 1～6 d 的 ADFI、ADG 显著低于常温组（P<0.05），1～2 d 和 1～6 d 的 F/G 显著高于常温组（P<0.05）。

表 3　循环热应激对黄羽肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of cyclic heat stress on growth performance of yellow-feathered broilers

时间 Time/d	项目 Items	常温组 Normal temperature group	循环热应激组 Cyclic heat stress group	P 值 P-value
1～2	平均日采食量 ADFI/g	141.59±5.38^{a}	44.05±5.12^{b}	0.031
	平均日增重 ADG/g	56.63±4.05^{a}	13.56±3.13^{b}	<0.001
	料重比 F/G	2.50±0.20^{b}	3.24±0.14^{a}	0.022
3～6	平均日采食量 ADFI/g	139.05±4.46	112.18±5.03	0.126
	平均日增重 ADG/g	54.01±3.22^{a}	40.20±4.48^{b}	0.001
	料重比 F/G	2.56±0.12	2.84±0.19	0.135

1～6	平均日采食量 ADFI/g	139.64±4.58[a]	89.47±4.29[b]	0.048
	平均日增重 ADG/g	54.90±3.51[a]	30.83±3.48[b]	<0.001
	料重比 F/G	2.53±0.15[b]	2.96±0.17[a]	0.032

2.3　循环热应激对黄羽肉鸡肝脏抗氧化功能的影响

由表 4 可知，循环热应激 2 d 后，循环热应激组肝脏 MDA 含量和 CAT、SOD 活性显著低于常温组（P<0.05），蛋白质羰基含量显著高于常温组（P<0.05）。循环热应激 6 d 后，循环热应激组肝脏 MDA、GSH 含量和 CAT、SOD、GSH-Px 活性显著低于常温组（P<0.05），蛋白质羰基含量显著高于常温组（P<0.05）。

表 4　循环热应激对黄羽肉鸡肝脏抗氧化功能的影响

Table 4　Effects of cyclic heat stress on liver antioxidant function of yellow-feathered broilers

时间 Time/d	项目 Items	常温组 Normal temperature group	循环热应激组 Cyclic heat stress group	P 值 P-value
2	丙二醛 MDA/（μmol/mg prot）	0.24±0.04[a]	0.16±0.03[b]	0.033
	过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	44.03±5.43[a]	27.26±5.61[b]	0.008
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	133.38±7.72[a]	100.90±8.34[b]	0.001
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	44.61±4.86	53.31±5.21	0.079
	还原型谷胱甘肽 GSH/（μmol/g prot）	31.32±3.29	28.30±4.02	0.783
	蛋白质羰基 PC/（nmol/mg prot）	0.12±0.02[b]	0.22±0.02[a]	0.011
6	丙二醛 MDA/（μmol/mg prot）	0.15±0.03[a]	0.08±0.02[b]	0.008
	过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	16.16±2.62[a]	8.06±2.28[b]	0.005
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	76.08±6.81[a]	49.14±6.08[b]	0.001
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	46.30±9.25[a]	13.39±9.87[b]	0.006
	还原型谷胱甘肽 GSH/（μmol/g prot）	37.03±4.92[a]	24.89±4.76[b]	0.035
	蛋白质羰基 PC/（nmol/mg prot）	0.39±0.01[b]	0.57±0.01[a]	0.009

3　讨　论

3.1　循环热应激对黄羽肉鸡呼吸机能的影响

高温环境可引发机体产生生理性调节反应，如加快呼吸、增加体表血流量以维持机体温度[5]。体表温度是机体适应环境的一种调节性的生理反应，也是评价热应激的标志[6]。Bohmanova 等[7]研究表明，

奶牛热应激能使其直肠温度、体表温度及呼吸频率显著升高。李超等[8]研究也表明，热应激时肉鸡只能通过提高呼吸频率，加大肺通气量，以增加呼吸道的蒸发和对流散热。本试验结果表明，循环热应激 2 d 后，循环热应激组的鸡冠温度、翅下温度、直肠温度和呼吸频率均显著高于常温组，循环热应激 6 d 后，循环热应激组的鸡冠温度和呼吸频率显著高于常温组，说明循环热应激升高了黄羽肉鸡的呼吸频率和体表温度，与上述研究结果一致。由本试验结果还可看出，循环热应激 6 d 后，翅下温度和直肠温度无显著差异，可能是黄羽肉鸡开始逐渐适应循环热应激，从而对体温有了较显著的调节作用。

3.2　循环热应激对黄羽肉鸡生长性能的影响

热应激是影响家禽生长性能的主要因素之一，能够使家禽的生理机能发生改变甚至造成紊乱，表现为体增重下降、生长减慢、抵抗力降低[9]。Sohail 等[10]研究表明，慢性热应激使 42 日龄肉鸡体重显著降低了 32.6%，F/G 显著提高了 25.6%，Deng 等[11]和 Mashaly 等[12]的研究表明，采食量下降很有可能是热应激降低生长性能，导致体重、饲料利用率、产蛋量和蛋品质下降的根源。本试验结果表明，给予循环热应激 3~6 d，与常温组相比，循环热应激组 ADFI 降低了 19.32%，F/G 了增加 10.94%，其他阶段 ADFI、ADG 均显著降低，F/G 均显著增加，说明循环热应激降低了黄羽肉鸡的体增重，增加了料重比，降低了生长性能，这与上述研究结果相一致。

3.3　循环热应激对黄羽肉鸡肝脏抗氧化功能的影响

适量自由基对机体是无害甚至是有益的，但在应激等条件下，机体产生过量自由基会破坏正常秩序及生理代谢。自由基的清除主要依靠体内各类抗氧化酶，包括 SOD、CAT 和 GSH-Px 等[13-14]。MDA 是氧自由基引发的机体脂质过氧化的终产物，蛋白质羰基是机体蛋白质过氧化的终产物[15]。研究表明，热应激会显著降低肝脏中 GSH-Px 的活性，进而导致肝脏中 MDA 含量的增加[16]，李叶涵等[17]研究表明，热应激显著增加了肉鸡肝脏过氧化程度，Chen 等[18]研究表明，氧化应激 48 h 后，细胞中 MDA 含量增加，SOD 活性降低。本试验结果表明，循环热应激 2 d 后，肝脏 CAT、SOD 活性显著降低，蛋白质羰基含量显著升高；循环热应激 6 d 后，肝脏 CAT、SOD、GSH-Px 活性和 GSH 含量显著降低，蛋白质羰基含量显著升高，说明循环热应激能降低黄羽肉鸡抗氧化酶的活性，从而降低了黄羽肉鸡的抗氧化功能。这与上述研究结果相符。通过本试验还发现，循环热应激 6 d 后黄羽肉鸡的抗氧化功能并未改善，肝脏 GSH-Px 活性反而显著降低，说明此时循环热应激对黄羽肉鸡仍能起到损伤作用，黄羽肉鸡尚未适应热环境。但 2 个阶段的肝脏 MDA 含量均低于常温组，这与前人的研究结果不同，具体原因需要进一步研究。

4　结　论

循环热应激能升高黄羽肉鸡的体温，加快呼吸频率，降低生长性能和肝脏抗氧化功能。

参考文献：

[1] 周鑫,黄毅,李延森,等.叔丁基对苯二酚对热应激小鼠肝脏氧化损伤的缓解作用[J].动物营养学报,2014,26(9):2779–2788.

[2] WANG J J,ZHU Q F,AHMAD H,et al.Combination of linseed and palm oils is a better alternative than single oil for broilers exposed to high environmental temperature[J].Journal of Poultry Science,2013,50(4):332–339.

[3] BELHADJ S I,NAJAR T,GHRAM A,et al.Heat stress effects on livestock:molecular,cellular and metabolic aspects,a review[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,100(3):401–412.

[4] 付旭彬.肉鸡急性热应激损伤及其机理的研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2002.

[5] 袁娇,刘建伟,李勇,等.富含γ-氨基丁酸米糠对夏季高温期肉鸡的生产性能、呼吸频率及直肠温度的影响[J].粮食与饲料工业,2014,12(1):50–53.

[6] 温雅俐,高民.热应激对奶牛体温和呼吸机能的影响[J].饲料工业,2011,32(23):55–60.

[7] BOHMANOVA J,MISZTAL I,COLE J B.Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress[J].Journal of Dairy Science,2007,90(4):1947–1956.

[8] 李超,赵青余,马悦培,等.γ-氨基丁酸对持续高温热应激肉仔鸡生产性能和血液指标的影响[J].中国兽医学报,2010,30(4):556–559.

[9] 刘梅.急性热应激对肉仔鸡生长性能及脂肪代谢的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):862–868.

[10] SOHAIL M U,HUME M E,BYRD J A,et al.Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress[J].Poultry Science,2012,91(9):2235–2240.

[11] DENG W,DONG X F,TONG J M,et al.The probiotic *Bacillus licheniformis* ameliorates heat stress-induced impairment of egg production,gut morphology,and intestinal mucosal immunity in laying hens[J].Poultry Science,2012,91(3):575–582.

[12] MASHALY M M,HENDRICKS G L,KALAMA M A,et al.Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens[J].Poultry Science,2004,83(6):889–894.

[13] 李文立,路静,孙振钧,等.谷氨酰胺对热应激肉鸡抗氧化性能的影响[J].动物营养学报,2011,23(4):695–702.

[14] 林海,杜荣.热应激对肉鸡组织过氧化状态的影响[J].动物营养学报,2001,13(2):30–32,55.

[15] 张彩虹,姜建阳,任慧英,等.酵母铬对热应激肉鸡抗氧化性能的影响[J].动物营养学报,2009,21(5):741–746.

[16] 王松波,邓琳,赵婕,等.热应激对肉鸡抗氧化能力及腓肠肌纤维类型的影响[J].华南农业大学学

报,2015,36(6):23–28.

[17] 李叶涵,周佳,张越,等.*L*-精氨酸和α-酮戊二酸对热应激肉鸡肝脏功能的影响[J].饲料工业,2016,37(16):6–11.

[18] CHEN X X,REN F,HESKETH J,et al.Interaction of porcine circovirus type 2 replication with intracellular redox status *in vitro*[J].Redox Report Communications in Free Radical Research,2013,18(5):186–192.

Effects of Cyclic Heat Stress on Breathing Function, Growth Performance and Liver Antioxidant Function of Yellow-Feathered Broilers

ZHONG Guang[1,2] SHAO Dan[2] SHI Shourong[2] TONG Haibing[2*] SONG Zhigang[1*]

（1. *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*; 2. *Poultry Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yangzhou* 225125, *China*）

Abstract： This study was designed to investigate the effects of cyclic heat stress on breathing function, growth performance and liver antioxidant function of yellow-feathered broilers. A total of 144 thirty-five-day-old yellow-feathered broilers with similar body weight were randomly divided into 2 groups (normal temperature group and cyclic heat stress group) with 12 replicates per group and 6 chicks per replicate. Broilers in the two group were all fed the basal diets, the temperature for normal temperature group next day （26.0±0.5） ℃，while the cyclic heat stress group received cyclic heat stress: 20:00 to next day 08:00 was 26 ℃, 08:00 to 12:00 and 16:00 to 20:00 was 30 ℃, 12:00 to 16:00 was 34 ℃. The experimental lasted for 6 days. The results showed that after 2 days of cyclic heat stress, the comb temperature, wing temperature, rectal temperature, breathing rate, ratio of feed to gain (F/G) and liver protein carbonyl content of cyclic heat stress group were significantly higher than those of normal temperature group (P<0.05), however, the average daily feed intake (ADFI), average daily gain (ADG) and activities of catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) in liver were significantly lower than those of normal temperature group (P<0.05). After 6 days of cyclic heat stress, the comb temperature, breathing rate, F/G and liver protein carbonyl content of cyclic heat stress group were significantly higher than those of normal temperature group (P<0.05), however, the ADFI, ADG and activities of CAT, SOD and glutathione peroxidase and content of glutathione in liver were significantly lower than those of normal temperature group (P<0.05). In conclusion, cyclic heat stress can increase body temperature, improve breathing function, reduce the growth performance and liver antioxidant function of yellow-feathered broilers.

Key words： yellow-feathered broiler; cyclic heat stress; breathing function; growth performance; antioxidant function

---

*Corresponging authors: TONG Haibing, professor, E-mail: tonghb@163.com; SONG Zhigang, professor, E-mail: naposong@qq.com （责任编辑 武海龙）